

试验研究

不锈钢复合板螺柱焊焊接接头性能分析

金建炳¹,李敏²,刘纯¹,田保生¹,程晓英¹

(1 山东鲍德金属复合板有限公司,山东 济南 250101;2 山钢股份济南分公司,山东 济南 250101)

摘要:对覆层厚度3 mm,基层厚度10 mm的316L+Q235B不锈钢复合板使用不同焊接电流(1 300 A、1 680 A、2 000 A、2 200 A)进行螺柱焊焊接试验,对焊接接头的组织性能进行分析。结果表明,焊接接头冷弯性能良好,随着焊接电流的增大,接头抗拉强度增强,焊缝中气孔、未熔合等缺陷减少,但耐腐蚀性呈下降趋势。综合考虑,焊接电流以1 680 A为宜。

关键词:不锈钢复合板;螺柱焊;剪力钉;焊接接头;力学性能;金相组织

中图分类号: TG453.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2015)06-0043-03

1 前言

不锈钢复合板由碳钢基层与不锈钢覆层结合而成,碳钢和不锈钢形成牢固的冶金结合,可以进行热压、冷弯、切割、焊接等各种加工,有良好的工艺性能,目前已作为不锈钢的替代品应用于许多行业。螺柱焊技术在桥梁建造上被广泛应用,通过螺柱焊将剪力钉焊接在桥面上,用于“铆固”桥面上的混凝土层,使混凝土层与钢结构桥面形成整体^[1]。普通桥梁钢板在雨雪、融雪剂的侵蚀下容易发生腐蚀,从而影响整个桥梁的使用寿命。目前国内开始使用不锈钢复合板制作铁路桥梁道碴槽,因国内没有在不锈钢复合板上进行螺柱焊焊接的相关经验,受中铁大桥局桥梁专家的委托,山东鲍德金属复合板有限公司对不锈钢复合板螺柱焊焊接接头的性能进行试验分析,以期为不锈钢复合板用于桥梁建造提供技术依据。

2 试验材料与方法

本次剪力钉焊接试验主要目的是验证其与金属复合板覆层结合的相关性能,与基层基本无关,试验用不锈钢复合板材为316L+Q235B,覆层厚度3 mm,基层厚度10 mm。试验用剪力钉材质为ML15,规格为M22 mm×250 mm。电焊机为RSN-2500D电弧螺柱焊机,正极性接法,陶瓷环保护。

由于不锈钢与碳钢金属的电磁性、线膨胀系数、热导率不一样^[2],为了最终获得耐腐蚀性和力学性能优良的不锈钢复合板焊接接头,分别采用不同的焊接工艺参数进行试验。焊接电流分别为:1 300 A(No.1,预计熔化量2 mm);1 680 A(No.2,预计熔化量2 mm);2 000 A(No.3,预计熔化量3 mm);2 200 A

(No.4,预计熔化量3 mm)。焊接时间均为1.5 s。

依据TB 10212—2009《铁路钢桥制造规范 附录D》和GB/T 10433—2002《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉 附录A》的相关要求,对剪力钉与不锈钢复合板形成的焊接接头进行如下试验:弯曲试验,考核标准为“用锤打击剪力钉,使剪力钉弯曲至30°时,其焊缝和热影响区没有肉眼可见的裂纹”;拉伸试验,考核标准为 $R_m \geq 400$ MPa,继续增大载荷直至拉伸,断裂不应发生在焊缝和热影响区。采用光学显微镜对焊接接头进行金相组织观察,采用电子扫描显微镜和能谱仪对焊接接头的化学成分进行分析。

3 试验结果与分析

3.1 弯曲试验

M22剪力钉弯曲试验进行3组。在剪力钉被锤击到30°时,除No.1组中1个试样在不锈钢与剪力钉的熔合线位置出现裂纹外,其他各组在剪力钉根部及焊缝位置均未发现缺陷,评定合格。评定合格的试样在继续将剪力钉锤击到60°、90°时,锤击试样也均未发现缺陷,说明M22剪力钉焊接接头弯曲性能良好。

3.2 拉伸试验

拉伸试验结果见表1。No.1组拉伸试样断裂位置均在焊缝,断口呈脆断形貌。No.2组~No.4组所有拉伸试样断裂位置也均在焊缝处,但表现为覆层不锈钢部分韧性撕裂形貌,在复合板覆层位置有撕裂坑,撕裂位置不属于基层与覆层的结合界面。拉伸结果按照标准(GB/T 10433—2002)要求均不合格,但在拉伸过程中没有发现覆层与基层开裂的情况,可以说明复合板界面结合强度大于焊接接头强度。

3.3 焊接接头宏观形貌

焊接接头的宏观形貌见图1。

No.1组试样剪力钉中间(引弧点)存在直径约1 mm的孔洞,其他部位也存在少量未融合区(图

收稿日期:2015-05-20

作者简介:金建炳,男,1981年生,2004年毕业于佳木斯大学材料成型及控制专业。现为山东鲍德金属复合板有限公司工程师,从事金属复合板产品开发及其焊接工艺研究工作。

表1 不锈钢复合板螺柱焊接头拉伸试验结果

组别	焊接电流/A	抗拉强度/MPa	
		试验值	平均
No.1	1 300	249,248,252	250
No.2	1 680	311,308,320	313
No.3	2 000	384,404,385	391
No.4	2 200	402,388,392	394

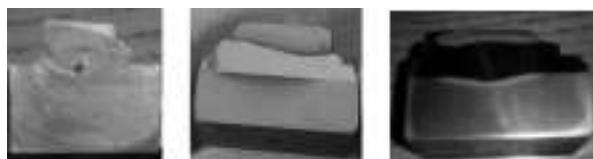


图1 不锈钢复合板螺柱焊接头宏观形貌

1a)。初步分析与剪力钉的引弧点构造有关,该引弧点是用铝制小钉镶嵌在预留孔的剪力钉上,而此次的焊接能量不足以把预留孔熔化,因此产生孔洞。其他3组试样随着焊接电流的增加,接头均未发现气孔,但在剪力钉和不锈钢熔合线周围也有少量未熔合。通过对焊接接头宏观形貌的观察发现, No.1组,原始覆层不锈钢没有完全熔化,试板基层与覆层间的原始结合面保持直线; No.2组,试板基层与覆层间的原始结合面保持直线(图1b); No.3组,基层与覆层间的原始结合面已经形成了下弯状态(图1c); No.4组,虽然基层与覆层间的原始结合面出现了严重的下弯,但剪力钉和基层也没有直接熔接,

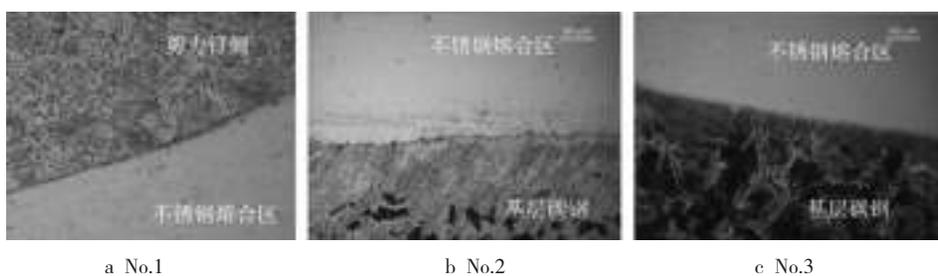


图2 不锈钢复合板螺柱焊接头界面组织形貌

图3为用王水腐蚀后 No.2组接头界面的金相组织。不锈钢、碳钢金属混合区即焊缝金属组织存在



图3 No.2组接头王水腐蚀后界面的组织形貌

3.6 化学成分分析

采用电子扫描显微镜和能谱仪对焊接接头的化学成分进行分析,分析结果如图4所示。通过对焊接试样的剪力钉、焊接接头、覆层成分的能谱分析,C、Cr、Ni、Mo等主要合金元素在焊缝的分布不稳定,总体趋势是随着距剪力钉熔合线的距离越远,

中间还有类不锈钢焊缝。另外在剪力钉出现焊偏的情况下,焊接电流1 680 A时试板基层覆层原始结合面也出现了下弯。

3.4 焊接接头耐腐蚀试验

采用4%的硝酸酒精溶液对焊接接头进行腐蚀,所有组别的焊缝两侧的剪力钉及基层的颜色变成灰色(发生腐蚀,图1c),而覆层及焊缝位置依然保持光亮的金属色泽(未发生腐蚀)。采用王水对焊接接头进行腐蚀,剪力钉、焊缝金属、基层、覆层都已变色,其中剪力钉、基层颜色较重并失去金属光泽(图1b),焊缝金属也变色,但相对较轻且部分地方依然保持金属光泽,覆层轻微变色但基本保持金属光泽。

通过上述情况分析,焊接接头中焊缝金属为覆层不锈钢与剪力钉熔化后的混合金属,较剪力钉和基层有一定耐蚀性,但耐蚀性较覆层不锈钢差。

3.5 金相分析

焊接接头界面组织形貌如图2所示,焊接电流在1 300 A(No.1)时,在剪力钉侧熔合线附近,已出现贝氏体和类马氏体混合组织(图2a);焊接电流为1 680 A(No.2)时,不锈钢和碳钢的结合面没有发生变化(图2b);而焊接电流为2 000 A(No.3)时,不锈钢和碳钢的原始结合面已发生了变化,甚至在碳钢侧也发生了局部相变(图2c)。

少量奥氏体、马氏体等组织,晶粒粗大,成分不均匀,是拉伸试验中容易发生断裂的位置。

熔合区中C含量越少,而Cr、Ni、Mo等有助于提高材料耐蚀性的元素含量越高。通过图4a和图4b的对比还可以看出,当焊接电流增大时,金属间的流动和混合程度加大,使得熔合区中Fe的含量增大,Cr、Ni、Mo等元素的含量减少,最终导致焊缝部位耐腐蚀性降低。

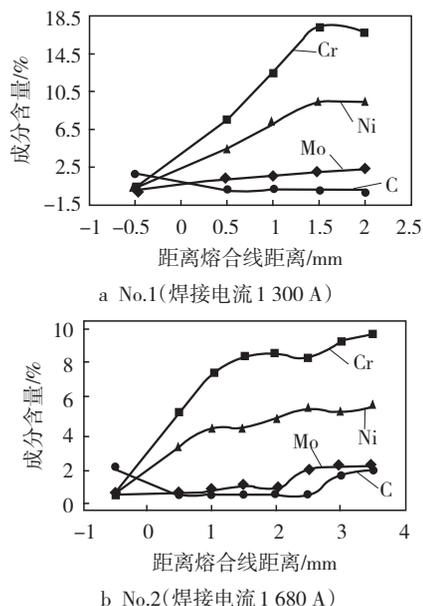


图4 不锈钢复合板螺柱焊接接头成分

3.7 试验结果综合分析

在螺柱焊接过程中,由于不锈钢和碳钢热物理性能及电磁性能的差异,使母材两侧熔池边缘液态金属的温度有所不同,加上螺柱焊焊接时间很短,导致熔池金属的流动性变差,所受的机械搅拌作用和电磁搅拌作用也相对较弱,因此熔池边缘熔化的金属不能与熔化的填充金属充分混合,化学成分不均匀,各类碳化物、氧化物的凝固形成了过渡层,即图3b中的焊缝金属。同时,由于焊缝金属的稀释作用,导致熔合线附近形成Cr、Ni浓度梯度,当焊缝金属中的奥氏体形成元素的含量降低时,焊缝熔合区内的奥氏体形成元素不足,从而形成不稳定的奥氏体;在剪力钉侧因为焊接应力的作用,在熔合线周围形成类马氏体组织(马氏体、贝氏体和碳化物等组成类马氏体),该组织硬而脆,造成焊接接头的抗拉强度下降。而随着过渡区的下移,Cr、Ni浓度提高,逐步趋于奥氏体组织,直到完全接近于原始不锈钢,这从图3组织也进一步得到了验证。

试验结果表明,不锈钢复合板可实现螺柱焊接,但其检验强度是否合格不能依据单一材料(同

种材料焊接)所要求的合格标准验收,因为其形成的焊接接头为异种钢焊接,成分及组织较为复杂,且拉伸强度主要受力点集中在焊缝及覆层与基层的结合界面上,结合强度一般低于单一母材的强度。因此当拉伸强度大于结合强度时,会造成覆层与基层的脱落,而国标(GB/T 8165—2005)对结合强度的要求为 ≤ 210 MPa,明显低于GB/T 10433—2002标准中 > 400 MPa的强度要求。

4 结论

4.1 本试验用不同焊接电流焊接时,不锈钢复合板螺柱焊焊接接头的弯曲性能良好。随着焊接电流的增大,接头的抗拉强度逐渐增加,但抗拉强度值始终低于相关标准要求,断裂位置均在焊缝处。

4.2 随着焊接电流的增大,焊缝中气孔、未熔合等缺陷减少;焊缝的耐蚀性能高于螺柱和碳钢基材,低于原不锈钢覆层。

4.3 C、Cr、Ni、Mo等主要合金元素在焊缝中的分布不稳定,距熔合线的距离越远,熔合区中C含量越少,而Cr、Ni、Mo等有助于提高材料耐蚀性的元素含量越高。当焊接电流增大时,熔合区中Fe含量增大,Cr、Ni、Mo含量减少,导致焊缝部位耐蚀性降低。

4.4 剪力钉与不锈钢复合板焊接和普通钢板焊接工艺参数不同,除按相关要求做好焊接工艺评定外,还需要对焊接接头进行宏观剖分,以原不锈钢复合板结合面没有发生变形,保持直线为最佳。本试验条件下,焊接电流以1680 A(No.2)为宜。焊接人员的操作水平影响焊缝质量,尤其是对焊缝的耐腐蚀能力影响较大;在焊接时严禁出现焊偏。如出现焊偏,需要对焊接接头位置用高牌号的不锈钢焊材进行补焊。

参考文献:

- [1] 梁成信,陈长礼.螺柱焊技术在桥梁上的应用[J].焊接技术,1997(6):10.
- [2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2002:1170.

Analysis of Welding Joint of Stainless Steel Clad Plate Stud Welding

JIN Jianbing¹, LI Min², LIU Chun¹, TIAN Baosheng¹, CHENG Xiaoying¹

(1 Shandong Baode Metal Clad Plate Co., Ltd., Jinan 250101, China;

2 The Technology Center of Jinan Company of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: For the 316L+Q235B stainless steel clad plate with 3 mm cladding thickness and 10 mm stainless steel base thickness, the different welding current (1 300 A, 1 680 A, 2 000 A and 2 200 A) was used to test stud welding. The microstructure and properties of welded joints of conduct were analyzed. The results showed that welded joints has good cold bending properties, joint tensile strength was increased with increasing welding current, the defects of weld porosity and poor fusion were decreased, but the corrosion resistance showed decreased trend. Taken together, the welding current of 1 680 A is appropriate.

Key words: stainless steel clad plate; stud welding; shear stud; weld joint; mechanical property; microstructure